



PCT/FR03/00834

REC'D 14 MAY 2003

WIPO

PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 23 AVR. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

BEST AVAILABLE COPY



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*02

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 @ W / 010801

31 DEC 2002 REMISE DES PIÈCES DATE 31 INPI RENNES LIEU 0216929 N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 31 DEC. 2002		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Cabinet Patrice VIDON Le nobel - Technopole atalante 2, allée antoine Becquerel BP 90333 35703 RENNES CEDEX 7	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 8704			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Procédé et dispositif de détection de points d'intérêt dans une image numérique source, programme d'ordinateur et support de données correspondantes			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ Date _____ N° _____ Pays ou organisation _____ Date _____ N° _____ Pays ou organisation _____ Date _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		FRANCE TELECOM	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		3 8 0 1 2 9 8 6 6	
Code APE-NAF			
Domicile ou siège		Rue 6, Place d'allera	
		Code postal et ville 17 5 0 1 5 PARIS	
		Pays FRANCE	
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2^{ème} page

31 DEC 2002

Reservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE

LIEU

N° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

0216929

DB 540 @ W / 010801

Vos références pour ce dossier :
(facultatif)

8704

6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)

Nom

VIDON

Prénom

Patrice

Cabinet ou Société

Cabinet Patrice VIDON

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

Adresse

Rue

Le Nobel
2, allée Antoine Becquerel - BP 90 333

Code postal et ville

35 17 10 13 RENNES CEDEX 7

Pays

FRANCE

N° de téléphone (facultatif)

02 99 38 23 00

N° de télécopie (facultatif)

02 99 36 02 00

Adresse électronique (facultatif)

vidon@vidon.com

7 INVENTEUR (S)

Les demandeurs et les inventeurs
sont les mêmes personnes

☐ Oui

☒ Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)

8 RAPPORT DE RECHERCHE

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Etablissement immédiat
ou établissement différé

☐

☒

Paiement échelonné de la redevance
(en deux versements)

Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt

☐ Oui

☐ Non

**9 RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)

☐ Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes

**10 SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE**

(Nom et qualité du signataire)

P. VIDON Mandataire (CPI 92-1250)

VISA DE LA PRÉFECTURE
DE L'INPI

INSTITUT
NATIONAL
DE LA
PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE
RENNES

Procédé et dispositif de détection de points d'intérêt dans une image numérique source, programme d'ordinateur et support de données correspondants.

5 **1. domaine de l'invention**

Le domaine de l'invention est celui de la détection de points d'intérêt, encore appelés points saillants dans une image numérique. Plus précisément, l'invention concerne une technique de détection de points d'intérêt mettant en œuvre une approche de type ondelettes.

10 Un point d'intérêt peut être considéré comme le représentant d'une région spatiale de l'image véhiculant une partie importante de l'information.

Historiquement, la notion de point saillant a été proposée dans le domaine de la vision par ordinateur, où l'un des problèmes majeurs consistait à détecter les coins des objets (d'où le terme « saillant », utilisé par la suite à titre de synonyme
15 du terme « d'intérêt »). Plus tard, cette notion a été élargie à d'autres caractéristiques des images comme les contours, les jonctions, etc.

Dans le domaine du traitement d'images, la détection des points saillants correspondant aux coins des objets n'a que peu d'intérêt. En effet, les coins sont généralement des points isolés, ne représentant qu'une faible partie de
20 l'information contenue dans l'image. De plus, leur détection génère des amas de points saillants dans le cas de régions texturées ou bruitées.

Différentes autres techniques ont été proposées, s'intéressant notamment aux points saillants correspondant aux zones de hautes fréquences, c'est-à-dire aux contours des objets. L'invention s'applique plus précisément à ce type de
25 technique.

On présente ci-après plus en détail différentes techniques connues de détection de points saillants.

2 Etat actuel des connaissances publiées sur le sujet (art antérieur le plus proche, publications, brevets)

La détection de points saillants (aussi appelés points d'intérêt) dans les images est un problème qui a suscité de nombreuses recherches depuis plusieurs années. Nous présentons dans cette section les principales approches retenues classiquement dans la littérature. Le lecteur pourra se référer à [5] pour un état de l'art plus détaillé.

Une des premières méthodes a été proposée par Harris et Stephens [7] pour la détection des coins. Ce type de points étaient alors considéré comme véhiculant une quantité importante de l'information et trouvait son application dans le domaine de la vision par ordinateur.

Pour définir ce détecteur, on calcule en chaque point $p(x,y)$ de l'image I , la quantité :

$$R_{x,y} = \text{Det}(M_{x,y}) - k \text{Tr}(M_{x,y})^2$$

où $M_{x,y}$ est une matrice définie par :

$$M_{x,y} = G(\sigma) \otimes \begin{bmatrix} I_x^2(x,y) & I_x(x,y)I_y(x,y) \\ I_x(x,y)I_y(x,y) & I_y^2(x,y) \end{bmatrix}$$

où :

- ❖ $G(\sigma)$ dénote un noyau gaussien de variance σ^2 ;
- ❖ \otimes dénote le produit de convolution ;
- ❖ I_x (resp. I_y) dénote la dérivée première de I suivant la direction x (resp. y) ;
- ❖ $\text{Det}(M_{x,y})$ dénote le déterminant de la matrice $M_{x,y}$;
- ❖ $\text{Tr}(M_{x,y})$ dénote la trace de la matrice $M_{x,y}$;
- ❖ k est une constante généralement utilisée avec une valeur de 0.04.

Les points saillants sont alors définis par les extrema locaux positif de la quantité $R_{x,y}$.

Dans [5], les auteurs proposent aussi une version plus précise du détecteur de Harris et Stephens. Cette version remplace le calcul des dérivées de l'image I par un calcul précis des dérivées du noyau gaussien.

Le détecteur de Harris et Stephens présenté ci-dessus a été étendu au cas des images couleurs dans [6]. Pour ce faire, les auteurs étendent la définition de la matrice $M_{x,y}$ qui devient alors :

$$M_{x,y} = G(\sigma) \otimes \begin{bmatrix} (R_x^2 + G_x^2 + B_x^2)(x,y) & (R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y)(x,y) \\ (R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y)(x,y) & (R_y^2 + G_y^2 + B_y^2)(x,y) \end{bmatrix}$$

où :

- ❖ R_x, G_x, B_x dénotent respectivement les dérivées premières des plans colorimétriques rouge, vert et bleu dans la direction x ;
- ❖ R_y, G_y, B_y dénotent respectivement les dérivées premières des plans colorimétriques rouge, vert et bleu dans la direction y ;

Dans [10], les auteurs considèrent les points saillants comme les points de l'image présentant un fort contraste. Pour construire un tel détecteur, les auteurs utilisent une approche multi-résolution basée sur la construction d'une pyramide gaussienne.

Supposons que l'image I soit de taille $2^N \times 2^N$. Nous pouvons définir une pyramide à N niveaux où le niveau 0 correspond à l'image originale et le niveau $N-1$ correspond à une image de 1 pixel.

Au niveau k de la pyramide, le contraste au point P est défini par :

$$C_k(P) = \frac{G_k(P)}{B_k(P)} \text{ avec } 0 \leq k \leq N-1 \text{ et } C_N(P) = 1$$

où $G_k(P)$ définit la luminance locale au point P et au niveau k , et $B_k(P)$ définit la luminance du fond local au point P et au niveau k . Ces deux grandeurs sont calculées en chaque point et pour chaque niveau de la pyramide. On peut donc les représenter par deux pyramides appelées pyramide de luminance et pyramide du fond et définies par :

$$G_k(P) = \sum_{M \in \text{Fils}(P)} w(M) G_{k-1}(M)$$

$$B_k(P) = \sum_{Q \in \text{Parent}(P)} W(Q) G_{k+1}(Q)$$

où :

Les notations $\text{Fils}(P)$ et $\text{Parent}(P)$ dénotent les relations de hiérarchie dans la pyramide gaussienne ;

- ❖ w est une fonction de poids normalisée pouvant être réglée afin de simuler la pyramide gaussienne ;
- ❖ W est une fonction de poids normalisée prenant en compte la façon dont P est utilisé pour construire la luminance de ses ascendants dans la pyramide.

Dans cette approche, un point saillant est un point caractérisé par une valeur élevée du contraste local. Afin de prendre en compte la non symétrie de la grandeur C_k , les auteurs introduisent une nouvelle grandeur afin d'obtenir une valeur nulle pour une situation de non contraste et une valeur supérieure à zéro partout ailleurs. Cette nouvelle grandeur est définie par :

$$C_k^*(P) = \min \left(\frac{|G_k(P) - B_k(P)|}{B_k(P)}, \frac{|G_k(P) - B_k(P)|}{255 - B_k(P)} \right)$$

Avec cette nouvelle grandeur, les points saillants sont définis par les maxima locaux de C_k^* supérieurs à un seuil fixé.

Le détecteur de points saillants présenté initialement dans [11] est sans aucun doute le plus proche de la présente invention puisqu'il est aussi basé sur l'utilisation de la théorie des ondelettes. De ce fait, les auteurs considèrent que les points véhiculant une partie importante de l'information sont localisés dans les régions de l'image présentant de hautes fréquences.

En utilisant des ondelettes à support compact, les auteurs sont capables de déterminer l'ensemble des points du signal f (que l'on suppose pour l'instant mono-dimensionnel) qui ont été utilisés pour calculer n'importe quel coefficient ondelette $D_2, f(n)$, et ce, à n'importe quelle résolution 2^j ($j \leq -1$). A partir de cette constatation, une hiérarchie de coefficients ondelettes est construite. Cette hiérarchie détermine pour chaque

niveau de résolution 2^j et pour chaque coefficient ondelette $D_{2^j} f(n)$ de ce niveau, l'ensemble des coefficients ondelettes du niveau de résolution immédiatement supérieur 2^{j+1} nécessaires pour calculer $D_{2^{j+1}} f(n)$:

$$C(D_{2^j} f(n)) = \{D_{2^{j+1}} f(k), 2n \leq k \leq 2n + 2p - 1, 0 \leq n < 2^j N\}$$

où p dénote la régularité de la base d'ondelette utilisée (i.e. la taille du filtre ondelette) et N dénote la longueur du signal original f .

Ainsi, chaque coefficient ondelette $D_{2^j} f(n)$ est calculé à partir de $2^{-j}p$ points du signal f . Ses coefficients fils $C(D_{2^j} f(n))$ donnent la variation d'un sous-ensemble de ces $2^{-j}p$ points. Le sous-ensemble le plus saillant est celui dont le coefficient ondelette est maximal (en valeur absolue) au niveau de résolution 2^{j+1} . Il convient donc de considérer ce coefficient à ce niveau de résolution. En appliquant de façon récursive ce processus, un coefficient $D_{2^{-j}} f(n)$ est sélectionné à la résolution $\frac{1}{2}$. Ce coefficient représente $2p$ points du signal f . Pour sélectionner le point saillant correspondant dans f , les auteurs proposent de retenir parmi ces $2p$ points, celui dont le gradient est maximal en valeur absolue.

Pour étendre cette approche aux signaux bi-dimensionnels que sont les images, les auteurs appliquent la même approche à chacune des trois sous-bandes $D_{2^j}^1 I, D_{2^j}^2 I, D_{2^j}^3 I$ où I dénote l'image originale. Dans le cas des images, le support spatial de la base d'ondelette est de taille $2p \times 2p$. Ainsi, le cardinal de $C(D_{2^j}^s f(x, y))$ est de $4p^2$ pour tout $s=1,2,3$. Pour chaque orientation (horizontale, verticale et oblique), la méthode cherche, parmi les coefficients fils d'un coefficient donné, celui dont l'amplitude est maximale. Si différents coefficients de différentes orientations amènent au même pixel de I , alors ce pixel est considéré comme un point saillant.

Cette technique a été notamment utilisée en indexation d'images dans [9].

3 Inconvénients des techniques antérieures

Comme nous l'avons montré dans la section précédente, de nombreuses méthodes ont été proposées dans la littérature pour la détection de points saillants. La différence majeure de ces approches repose sur la définition même de point saillant. Historiquement, les chercheurs dans le domaine de la vision par ordinateur s'intéressaient aux coins des objets. C'est ainsi qu'a été proposé le détecteur de Harris et Stephens [7] qui a été récemment étendu à la couleur dans [6]. Nous considérons que les coins des objets ne représentent pas une information pertinente dans le domaine du traitement d'image. En effet, dans le cas d'images faiblement texturées, ces points vont être éparpillés dans l'espace et ne donneront pas une représentation satisfaisante de l'image. Dans le cas d'images texturées ou bruitées, les points saillants seront tous concentrés dans les texture et donneront une représentation locale et non globale de l'image.

La définition de la saillance basée sur le contraste [10] est nettement plus intéressante pour le traitement d'image. Malheureusement, cette approche souffre du même défaut que la précédente dans le cas de régions texturées ou bruitées.

L'approche basée sur les ondelettes proposée par E. Loupias et N. Sebe [11] est manifestement la plus robuste et la plus intéressante. En effet, on sait depuis longtemps que les contours représentent l'information primordiale d'une image puisqu'elle est en parfaite adéquation avec le système visuel humain. Cette approche est très proche de la nôtre et les principales différences sont les suivantes :

- ❖ L'algorithme de recherche des points saillants proposé par Loupias et Sebe requiert une recherche parmi $2^{2j} \times 4p^2 \times 3$ coefficients pour chaque niveau de résolution 2^j et pour une image carrée. Notre algorithme est indépendant de la taille du support de la base d'ondelette; ce qui nous amène à une recherche parmi $2^{2j} \times 4 \times 3$ coefficients. Cet avantage nous permet de pouvoir utiliser des bases d'ondelette avec un support pouvant être de taille importante alors que la plupart des publications utilisant le détecteur de Loupias et Sebe utilisent la base de Haar, loin d'être optimale.

- ❖ La méthode de Loupias et Sebe considèrent les sous-bandes indépendamment les uns des autres ce qui les amènent à détecter en priorité les points de gradient maximal dans toutes les directions (i.e. les coins). De notre côté, nous fusionnons l'information contenue dans les différentes sous-bandes ce qui nous permet de ne privilégier aucune direction particulière.

4 Le but de l'invention et le résultat technique obtenu par l'invention

Le but de l'invention concerne la détection des points saillants d'une image I . Ces points correspondent aux pixels de I appartenant à des régions de haute fréquence. Pour ce faire, nous proposons de nous baser sur la théorie des ondelettes [1][2][3]. Nous renvoyons le lecteur à l'Annexe A pour une brève présentation de cette théorie.

La transformée en ondelettes est une représentation multi-résolution de l'image qui permet d'exprimer l'image aux différentes résolutions $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \text{etc.}$. Ainsi, à chaque niveau de résolution $2^j (j \leq -1)$, la transformée en ondelettes représente l'image I , de taille $n \times m = 2^k \times 2^l (k, l \in \mathbb{Z})$, sous la forme :

- ❖ d'une image grossière A_2, I ;
- ❖ d'une image D_2^1, I de détails représentant les hautes fréquences verticales (i.e. les contours horizontaux) ;
- ❖ d'une image D_2^2, I de détails représentant les hautes fréquences horizontales (i.e. les contours verticaux) ;
- ❖ d'une image D_2^3, I de détails représentant les hautes fréquences diagonales (i.e. les coins).

Chacune de ces images est de taille $2^{k+j} \times 2^{l+j}$. La Figure 1 illustre ce type de représentation.

Chacune de ces trois images est obtenue à partir A_{2^r}, I par un filtrage suivi d'un sous-échantillonnage d'un facteur deux dans chaque direction comme le montre la Figure 2. Il est à noter que l'on a $A_{2^0}, I = I$.

L'invention consiste à choisir, en premier lieu, une base d'ondelettes et un niveau de résolution minimal $2^r (r \leq -1)$. Une fois la transformation ondelette effectuée, nous proposons de parcourir chacune des trois images de détails D_2^1, I , D_2^2, I et D_2^3, I afin de construire une arborescence de coefficients ondelettes. Cette arborescence est basée sur l'approche Zerotree [4], initialement proposée pour le codage d'image. Elle nous permet de mettre en place une carte de saillance de taille $2^{k+r} \times 2^{l+r}$ reflétant l'importance de chaque coefficient ondelette à la résolution $2^r (r \leq -1)$. Ainsi, un coefficient ayant une saillance importante correspond à une région de I présentant des hautes fréquences. En effet, un coefficient ondelette de module important à la résolution $2^r (r \leq -1)$ correspond à un contour de l'image A_{2^r}, I suivant une direction particulière (horizontale, verticale ou oblique). L'approche Zerotree nous indique que chacun des coefficients ondelettes à la résolution 2^r correspond à une zone spatiale de taille $2^{-r} \times 2^{-r}$ dans l'image I . A partir de la carte de saillance construite, l'invention propose une méthode permettant de choisir parmi les $2^{-r} \times 2^{-r}$ pixels de I , le pixel le plus représentatif de cette zone.

En termes d'applications potentielles, la détection de points saillants dans les images peut être utilisée, de façon non exhaustive :

- ❖ Pour le tatouage d'images. Dans ce cas, les points saillants donnent des indication quant à la localisation possible de la marque afin de garantir sa robustesse ;
- ❖ Pour l'indexation d'image. En détectant un nombre fixe de points saillants, on peut en déduire une signature de l'image (basée, par exemple, sur la colorimétrie autour des points saillants) qui peut ensuite être utilisée pour le calcul de similarités inter-images ;
- ❖ Pour la détection de visages. Parmi les points saillants correspondant aux hautes fréquences de l'image, certains d'entre eux sont localisés sur les caractéristiques faciales (yeux, nez, bouche) des visages présents dans l'image. Ils peuvent alors être utilisés dans un procédé de détection de visages dans les images.

L'invention a donc notamment pour objectif de pallier les différents inconvénients de l'état de l'art.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique de détection de points saillants correspondant à une haute fréquence, et ne
5 privilégiant aucune direction particulière dans l'image.

Un autre objectif de l'invention est de fournir une telle technique, qui nécessite un nombre réduit d'opérations, par rapport aux techniques connues.

Notamment, un objectif de l'invention est de fournir une telle technique permettant d'utiliser des bases d'ondelettes avec un support de taille importante.

10 Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront plus clairement par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de détection de points d'intérêt dans une image numérique source, ledit procédé mettant en œuvre une transformation en ondelettes associant à une image source des coefficients ondelettes, pour au moins deux niveaux de résolution :

- 15 – une image grossière ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences verticales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences horizontales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences diagonales,
- un point d'intérêt étant un point associé à une région de l'image présentant une
20 haute fréquence.

Selon l'invention, ce procédé comprend les étapes suivantes :

- application de ladite transformation en ondelettes à ladite image source ;
- construction d'une arborescence unique, à partir des coefficients ondelettes de chacune desdites images de détails ;
- 25 – sélection d'au moins un point d'intérêt, par analyse de ladite arborescence.

De façon avantageuse, ladite étape de construction d'une arborescence repose sur une approche de type Zerotree.

30 Ainsi, préférentiellement, chaque point de l'image grossière de résolution

minimum et la racine d'un arbre à laquelle on associe trois nœuds fils correspondant à chacun des coefficients ondelettes des trois images de détails localisés au même emplacement, puis on associe récursivement, à chaque nœud fils d'un niveau de résolution donné, quatre nœuds fils formés par les coefficients ondelettes de l'image de détails de même type et du niveau de résolution
5 précédent, et associée à la région correspondante de l'image source.

Selon un aspect avantageux de l'invention, ladite étape de sélection met en œuvre une étape de construction d'au moins une carte de saillance, affectant auxdits coefficients ondelettes une valeur de saillance représentative de son
10 intérêt. Préférentiellement, on construit une carte de saillance pour chacun desdits niveaux de résolution.

De façon avantageuse, pour chacune desdites cartes de saillance, on fusionne pour chaque valeur de saillance les informations associées aux trois coefficients ondelettes correspondant aux trois images de détail, de façon à ne
15 privilégier aucune direction dans l'image.

Selon un aspect préférentiel de l'invention, une valeur de saillance d'un coefficient ondelette donné d'un niveau de résolution donné prend en compte la ou les valeurs de saillance des coefficients ondelettes descendant dans ladite arborescence dudit coefficient ondelette donné.

20 Préférentiellement, une valeur de saillance est une relation linéaire des coefficients ondelettes associés.

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, la valeur de saillance d'un coefficient ondelette donné est calculée à partir des équations (1) précisées par la suite.

25 Dans ces équations, le paramètre α_k peut par exemple valoir $-1/r$ pour toutes les valeurs de k .

Selon un autre aspect préférentiel de l'invention, ladite étape de sélection comprend une étape de construction d'une arborescence desdites valeurs de saillance, repose avantageusement sur une approche de type Zerotree.

30 Dans ce cas, ladite étape de sélection comprend avantageusement les

étapes de :

- tri par ordre décroissant des valeurs de saillance de la carte de saillance correspondant à la résolution minimum ;
- sélection de la branche présentant la valeur de saillance la plus élevée pour chacun des arbres ainsi triés.

Selon un aspect préférentiel de l'invention, ladite étape de sélection de la branche présentant la valeur de saillance la plus élevée met en œuvre un parcours de l'arbre correspondant à partir de sa racine, et une sélection à chaque niveau de l'arbre du nœud fils présentant la valeur de saillance la plus élevée.

- 10 Comme déjà mentionné, l'invention permet d'utiliser de nombreuses transformations en ondelettes. Dans un mode de réalisation particulier, on met en œuvre la base de Haar.

Dans un mode de réalisation particulier, on choisit comme niveau minimal de résolution 2^{-4} .

- 15 Le procédé de l'invention peut par ailleurs comprendre une étape de calcul d'une signature d'image, à partir d'un nombre prédéterminé de points d'intérêt de ladite image.

Ladite signature peut ainsi notamment être utilisée pour l'indexation d'images par leur contenu.

- 20 Plus généralement l'invention trouve des applications dans de nombreux domaines, et par exemple pour :

- le tatouage d'images ;
- l'indexation d'images ;
- la détection de visage(s) dans une image.

- 25 L'invention concerne également les dispositifs de détection de points d'intérêt dans une image numérique source mettant en œuvre le procédé tel que décrit ci-dessus.

- 30 L'invention concerne encore les programmes d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de détection de points d'intérêt décrit ci-dessus, et les supports de données

numériques utilisables par un ordinateur portant un tel programme.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés parmi

5 lesquels :

- la figure 1 illustre le principe de l'analyse multi-résolution d'une image I par transformation en ondelettes ;
- la figure 2 présente de façon schématique une transformation ondelette ;
- 10 - la figure 3 est une représentation d'une arborescence de coefficients ondelettes selon l'invention ;
- la figure 4 présente un exemple de cartes de saillance, et les arbres de saillance correspondants ;
- la figure 5 illustre la saillance d'une branche de l'arbre de la figure 4 ;
- 15 - les figures 6a et 6b illustrent des résultats expérimentaux du procédé de l'invention, la figure 6a présentant deux images originales et la figure 6b les points saillants correspondants ;
- la figure 7 illustre un procédé d'indexation d'images mettant en
- 20 œuvre le procédé de détection de l'invention.

5 Identification des éléments techniques essentiels de l'invention

5.1 Transformation ondelette

La transformation ondelette est un outil mathématique puissant permettant l'analyse multi-résolution d'une fonction [1][2][3]. Nous renvoyons le lecteur à l'Annexe A pour un rapide survol de cet outil.

Dans notre cas, les fonctions considérées sont des images numériques c'est-à-dire des fonctions bi-dimensionnelles discrètes. Sans perte de généralités, nous supposons que les images traitées sont échantillonnées sur une grille discrète de n lignes et m colonnes et à valeur dans un espace de luminance échantillonné à 256 valeurs. De plus, nous supposons que $n = 2^k$ ($k \in \mathbb{Z}$) et que $m = 2^l$ ($l \in \mathbb{Z}$).

Si nous notons I l'image originale, nous avons alors :

$$I : \begin{cases} [0, m] \times [0, n] \rightarrow [0, 255] \\ (x, y) \mapsto I(x, y) \end{cases}$$

Comme mentionné à la section 4, la transformation ondelette de I permet une représentation multi-résolution de I . A chaque niveau de résolution 2^j ($j \leq -1$), la représentation de I est donnée par une image grossière $A_{2^j}I$ et par trois images de détails $D_{2^j}^1I$, $D_{2^j}^2I$ et $D_{2^j}^3I$. Chacune de ces images est de taille $2^{k+j} \times 2^{l+j}$. Ce processus est illustré sur la Figure 2.

La transformation ondelette nécessite le choix d'une fonction échelle $\Phi(x)$ ainsi que le choix d'une fonction ondelette $\Psi(x)$. A partir de ces deux fonctions, on dérive un filtre échelle H et un filtre ondelette G dont les réponses impulsionnelles respectives h et g sont définies par :

$$\begin{aligned} h(n) &= \langle \phi_{2^{-1}}(u), \phi(u-n) \rangle \forall n \in \mathbb{Z} \\ g(n) &= \langle \psi_{2^{-1}}(u), \phi(u-n) \rangle \forall n \in \mathbb{Z}. \end{aligned}$$

Notons respectivement \tilde{H} et \tilde{G} les filtres miroirs de H et G (i.e. $\tilde{h}(n) = h(-n)$ et $\tilde{g}(n) = g(-n)$).

On peut alors montrer [1] (cf. Figure 2) que :

- ❖ $A_{2^j}I$ peut être calculée en convoluant $A_{2^{j+1}}I$ avec \tilde{H} dans les deux dimensions et en sous-échantillonnant d'un facteur deux dans les deux dimensions ;
- ❖ $D_{2^j}^1I$ peut être calculée en :
 1. convoluant $A_{2^{j+1}}I$ avec \tilde{H} suivant la direction y et en sous-échantillonnant d'un facteur deux suivant cette même direction ;
 2. convoluant le résultat de l'étape 1) avec \tilde{G} suivant la direction x et en sous-échantillonnant d'un facteur deux suivant cette même direction.
- ❖ $D_{2^j}^2I$ peut être calculée en :
 1. convoluant $A_{2^{j+1}}I$ avec \tilde{G} suivant la direction y et en sous-échantillonnant d'un facteur deux suivant cette même direction ;
 2. convoluant le résultat de l'étape 1) avec \tilde{H} suivant la direction x et en sous-échantillonnant d'un facteur deux suivant cette même direction.
- ❖ $D_{2^j}^3I$ peut être calculée en :

1. convoluant $A_{2^{r+1}}I$ avec \tilde{G} suivant la direction y et en sous-échantillonnant d'un facteur deux suivant cette même direction ;
2. convoluant le résultat de l'étape 1) avec \tilde{G} suivant la direction x et en sous-échantillonnant d'un facteur deux suivant cette même direction.

5.2 Construction de l'arborescence des coefficients ondelettes

Une fois la transformation ondelette effectuée jusqu'à la résolution 2^r ($r \leq -1$), on dispose :

- ❖ D'une image approximée $A_{2^r}I$;
- ❖ De trois images de détails $D_{2^r}^1I$, $D_{2^r}^2I$, $D_{2^r}^3I$ par niveau de résolution 2^j avec $j=-1, \dots, r$.

On construit alors une arborescence des coefficients ondelettes en se basant sur la technique Zerotree [4]. Les arbres sont construits de la façon suivante (cf. Figure 3) :

- ❖ Chaque pixel $p(x,y)$ de l'image $A_{2^r}I$ est la racine d'un arbre ;
- ❖ Chaque racine $p(x,y)$ se voit attribuer trois nœuds fils désignés par les coefficients ondelettes des trois images de détails $D_{2^r}^sI$ ($s=1,2,3$) localisés au même emplacement (x,y) ;
- ❖ Du fait du sous-échantillonnage d'un facteur deux effectué par la transformation ondelette à chaque changement de résolution, chaque coefficient ondelette $\alpha_{2^r}^s(x,y)$ ($s=1,2,3$) correspond à une zone de taille 2×2 pixels dans l'image détail correspondante à la résolution 2^{r+1} . Cette zone est localisée en $(2x,2y)$ et tous les coefficients ondelettes y appartenant deviennent les nœuds fils de $\alpha_{2^r}^s(x,y)$.

De façon récursive, on construit l'arborescence dans laquelle chaque coefficient ondelette $\alpha_{2^r}^s(x,y)$ ($s=1,2,3$ et $0 > r$) possède quatre nœuds fils désignés par les coefficients ondelettes de l'image $D_{2^{r+1}}^sI$ localisés dans la région située en $(2x,2y)$ et de taille 2×2 pixels.

Une fois l'arborescence construite, chaque coefficient ondelette $\alpha_{2^r}^s(x,y)$ ($s=1,2,3$) correspond à une région de taille $2^{-r} \times 2^{-r}$ pixels dans l'image détail $D_{2^{-r}}^sI$.

5.3 Construction des cartes de saillance

A partir de l'arborescence obtenue par l'étape précédente, nous proposons de construire en ensemble de $-r$ cartes de saillance (i.e. une carte de saillance par niveau de résolution). Chaque carte de saillance S_{2^j} ($j=-1, \dots, r$) reflète l'importance des coefficients ondelettes présents à la résolution correspondante 2^j . Ainsi, plus un coefficient ondelette sera jugé important au sens de l'information qu'il véhicule, plus sa valeur de saillance sera importante.

Il est à noter que chaque coefficient ondelette privilégie une direction (horizontale, verticale ou oblique) suivant l'image de détails à laquelle il appartient. Cependant, nous avons choisi de ne privilégier aucune direction particulière et nous avons donc fusionné l'information contenue dans les trois coefficients ondelettes $\alpha_{2^j}^1(x,y)$, $\alpha_{2^j}^2(x,y)$, $\alpha_{2^j}^3(x,y)$ quelque soit le niveau de résolution 2^j et quelque soit la localisation (x,y) avec $0 \leq x < 2^{k+j}$ et $0 \leq y < 2^{l+j}$.

Chaque carte de saillance S_{2^j} est de taille $2^{k+j} \times 2^{l+j}$.

D'autre part, la saillance de chaque coefficient à la résolution 2^j doit prendre en compte la saillance de ses descendants dans l'arborescence des coefficients.

Afin de prendre en compte l'ensemble de ces propriétés, la saillance d'un coefficient localisé en (x,y) à la résolution 2^j est donnée par la relation récursive suivante :

$$\begin{cases} S_{2^{j-1}}(x, y) = \alpha_{-1} \left(\frac{1}{3} \sum_{u=1}^3 \frac{D_{2^{j-1}}''(x, y)}{\text{Max}(D_{2^{j-1}}'')} \right) \\ S_{2^j}(x, y) = \frac{1}{2} \left(\alpha_j \left(\frac{1}{3} \sum_{u=1}^3 \frac{D_{2^j}''(x, y)}{\text{Max}(D_{2^j}'')} \right) + \frac{1}{4} \sum_{u=0}^1 \sum_{v=0}^1 S_{2^{j-1}}(2x+u, 2y+v) \right) \end{cases}$$

Équation 1: expression de la saillance d'un coefficient

où

- ❖ $\text{Max}(D_{2^s}') (s=1,2,3)$ dénote la valeur maximale des coefficients ondelettes dans l'image détail D_{2^s}', I ;
- ❖ $\alpha_k (0 \leq \alpha_k \leq 1)$ permet de régler l'importance des coefficients de saillance suivant le niveau de résolution. Il est à noter que l'on a $\sum_k \alpha_k = 1$.

- ❖ Il est important de noter que les valeurs de saillance sont normalisées i.e. $0 \leq S_{2^j}(x, y) \leq 1$.

Comme on peut le voir sur l'Équation 1, la saillance d'un coefficient est une relation linéaire des coefficients ondelettes. En effet, comme nous l'avons mentionné en section 4, nous considérons les points saillants comme des pixels de l'image appartenant à des régions de haute fréquence. Or, un coefficient ondelette $\alpha_{2^j}'(x, y) (s=1,2,3)$ élevé à la résolution 2^j dénote une zone de haute fréquence dans l'image A_{2^j}', I à la localisation $(2x, 2y)$. En effet, les images de détails étant obtenues par un filtrage passe-haut de l'image A_{2^j}', I , chaque contour de A_{2^j}', I génère un coefficient ondelette élevé dans une des images de détail à la résolution 2^j et correspondant à l'orientation du contour.

Ainsi, la formulation de la saillance d'un coefficient donnée dans l'Équation 1 se justifie.

5.4 Choix des points saillants

Une fois la construction des cartes de saillance achevée, nous proposons une méthode afin de choisir les points les plus saillants dans l'image originale.

Pour ce faire, nous construisons une arborescence des valeurs de saillance à partir des $-r$ cartes de saillance construites. De façon analogue à la construction de l'arborescence des coefficients ondelettes, nous pouvons construire 2^{k+l+2r} arbres de coefficients de saillance, chacun ayant pour racine un coefficient de S_{2^r} .

Comme pour la technique Zero-tree, chacun de ces coefficients correspond à une zone de taille 2×2 coefficients dans la carte $S_{2^{r-1}}$. On peut alors construire récursivement l'arbre dans lequel chaque nœud se voit attribuer quatre nœuds fils dans la carte de saillance de résolution immédiatement supérieure. La Figure 4 illustre cette construction.

Afin de localiser les points les plus saillants dans I , nous procédons :

1. à un tri par ordre décroissant des 2^{k+l+2r} valeurs de saillance présentes dans S_{2^r} ;
2. à la sélection de la branche de saillance maximale de chacun des 2^{k+l+2r} arbres ainsi triés.

Afin de sélectionner cette branche, nous proposons d'effectuer un parcours de l'arbre à partir de la racine dans lequel nous sélectionnons à chaque niveau de l'arbre le nœud fils ayant la valeur de saillance la plus importante (cf. Figure 5). Nous obtenons ainsi une liste de $-r$ valeurs de saillance :

$$\text{Branche saillante} = \{s_{2^r}'(x_1, y_1), s_{2^r}'(x_2, y_2), \dots, s_{2^r}'(x_r, y_r)\}$$

avec $(x_k, y_k) = \text{Arg Max}\{s_{2^{r-1-2i}}'(2x_{k-1}+u, 2y_{k-1}+v), 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1\}$.

À partir des branches les plus saillantes de chaque arbre, le pixel de I choisi comme étant le plus représentatif de la branche est localisé en $(2x_r, 2y_r)$.

Dans la pratique, on parcourt uniquement un sous-ensemble des 2^{k+l+2r} arbres. En effet, pour de nombreuses applications, on recherche un nombre fixe n de points saillants. Dans ce cas, il convient de ne parcourir que les n arbres ayant les racines les plus saillantes.

6 Description détaillée d'au moins un mode particulier de réalisation

Dans cette section, nous utilisons les éléments techniques présentés dans la section précédente dont nous fixons les paramètres nécessaires afin de décrire un mode particulier de réalisation.

6.1 Choix de la transformation ondelette

Comme nous l'avons mentionné en section 5.1, nous devons en premier lieu choisir une base d'ondelettes et le niveau minimal de résolution 2^r ($r \leq -1$).

Pour ce mode particulier de réalisation, nous proposons d'utiliser la base de Haar et $r=-4$. La base de Haar est définie par :

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

pour la fonction échelle, et par :

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 \leq x < \frac{1}{2} \\ -1 & \text{si } \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

pour la fonction ondelette.

6.2 Construction de l'arborescence des coefficients ondelettes

Dans cette étape, aucun paramètre n'est requis. Le processus est donc conforme à ce qui est décrit dans la section 5.2.

6.3 Construction des cartes de saillance

Dans cette étape, nous devons choisir les paramètres α_k ($-1 \leq k \leq r$) permettant de régler l'importance accordé aux coefficients de saillance suivant le niveau de résolution auxquels ils appartiennent.

Dans ce cas particulier de réalisation, nous proposons d'utiliser $\alpha_k = \frac{-1}{r} \forall k \in [r, -1]$.

6.4 Choix des points saillants

Cette étape ne requiert aucun paramètre. Le processus est donc conforme à ce qui est décrit dans la section 5.4.

6.5 Résultats expérimentaux

Les résultats obtenus sur des images naturelles en utilisant les paramètres proposés dans ce mode particulier de réalisation sont illustrés sur la Figure 6.

6.6 Exemple d'application

Parmi les applications potentielles listées dans la section 4, nous présentons dans cette section l'utilisation des points saillants pour l'indexation d'images fixes par le contenu.

6.6.1 But de l'indexation d'images

L'indexation d'images par le contenu permet de retrouver, parmi une base de données d'images, un ensemble d'images visuellement similaires à une image donnée appelée *image requête*. Pour ce faire, des caractéristiques visuelles (appelées aussi *descripteurs*) sont extraites des images et forment la signature de l'image. Les signatures des images appartenant à la base de données sont calculées off-line et sont stockées dans la base de données. Lorsque l'utilisateur soumet par la suite une image requête au moteur d'indexation, le moteur calcule la signature de l'image requête et rapproche cette signature des signatures pré-calculées de la base de données. Ce rapprochement est effectué en calculant la distance entre la signature de l'image requête et les signatures de la base de données. Les images les plus similaires à l'images requête sont alors celles dont la signature minimise la distance calculée. La Figure 7 illustre ce procédé. Toute la difficulté de l'indexation d'images consiste alors à déterminer des descripteurs et des distances robustes.

6.6.2 Descripteurs basés sur les points saillants d'une image

Nous proposons dans cette section de calculer la signature d'une image à partir d'un nombre fixe de points saillants. Cette approche est inspirée de [9].

Un descripteur colorimétrique et un descripteur de texture sont extraits au voisinage de chacun des points saillants. Le descripteur colorimétrique est constitué des moments d'ordre 0 (moyenne), 1 (variance) et 2 dans un voisinage de taille 3x3 autour de chaque point saillant. Le descripteur de texture est constitué des moments de Gabor dans un voisinage de taille 9x9.

Une fois la signature de l'image requête R calculée, la distance $D(R, I_j)$ entre cette signature et la signature de la $j^{\text{ème}}$ image I_j dans la base de données est définie par :

$$D(R, I_j) = \sum_i W_i S_j(f_i), j = 1, \dots, N$$

où N dénote le nombre d'images dans la base de données et $S_j(f_i)$ est définie par :

$$S_j(f_i) = (x_i - q_i)^T (x_i - q_i)$$

où x_i et q_i désignent respectivement le $i^{\text{ème}}$ descripteur (par exemple $i=1$ pour le descripteur colorimétrique et $i=2$ pour le descripteur de texture) de la $j^{\text{ème}}$ image de la base et de l'image requête R . Les poids W_i permettent de moduler l'importance des descripteurs les uns par rapport aux autres.

8 Références

- [1] Mallat S., "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 7, Juillet 1989, pp. 674-693.
- [2] Stollnitz E.J., DeRose T.D., Salesin D., "Wavelets for Computer Graphics: A Primer-Part 1", IEEE Computer Graphics and Applications, Mai 1995, pp.76-84.
- [3] Stollnitz E.J., DeRose T.D., Salesin D., "Wavelets for Computer Graphics: A Primer-Part 2", IEEE Computer Graphics and Applications, Juillet 1995, pp.75-85.
- [4] Shapiro J.M., "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, No. 12, Décembre 1993, pp. 3445-3462.
- [5] Schmid C., Mohr R. et Bauckhage C., "Evaluation of Interest Point Detectors", International Journal of Computer Vision, Vol. 37, No 2, pp. 151-172, 2000.
- [6] Gouet V. et Boujemaa N., "About Optimal Use of Color Points of Interest for Content-Based Image Retrieval", Rapport de recherche INRIA, No 4439, Avril 2002.
- [7] Harris C. et Stephens M., "A Combined Corner and Edge Detector", Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 1988.
- [9] Sebe N. et Lew M.S., "Salient Points for Content-based Retrieval", Proceedings of British Machine Vision Conference, Manchester, 2001.
- [10] Bres S. et Jolion J.M., "Detection of Interest Points for Image Indexation", ??.
- [11] Louprias E. et Sebe N., "Wavelet-based Salient Points for Image Retrieval", Rapport de recherche RR 99.11, INSA Lyon, 1999.

Annexe A : Survol de la théorie des ondelettes

A.1 Introduction

La théorie des ondelettes [1][2][3] permet d'approximer une fonction (courbe, surface, etc.) à différentes résolutions. Ainsi, cette théorie permet de décrire une fonction sous la forme d'une approximation grossière et d'une série de détails permettant de reconstruire parfaitement la fonction originale. Une telle représentation multi-résolution [1] d'une fonction permet donc d'interpréter de façon hiérarchique l'information contenue dans la fonction. Pour ce faire, cette information est réorganisée en un ensemble de détails apparaissant à différentes résolutions. Partant d'une séquence de résolutions croissantes $(r_j)_{j \in \mathbb{Z}}$, les détails d'une fonction à la résolution r_j sont définis comme la différence d'information entre son approximation à la résolution r_j et son approximation à la résolution r_{j+1} .

A.2 Notations

Avant de présenter plus en détail les fondements de l'analyse multi-résolution, nous présentons dans cette section les notations qui seront utilisées dans le document.

- ❖ Les ensembles des nombres entiers et réels sont respectivement notés \mathbb{Z} et \mathbb{R} .
- ❖ $L^2(\mathbb{R})$ dénote l'espace vectoriel des fonctions unidimensionnelles $f(x)$ mesurables et intégrables.
- ❖ Pour $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$ et $g(x) \in L^2(\mathbb{R})$, le produit scalaire de $f(x)$ et $g(x)$ est défini par :

$$\langle f(x), g(x) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(u)g(u)du.$$

- ❖ Pour $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$ et $g(x) \in L^2(\mathbb{R})$, la convolution de $f(x)$ et $g(x)$ est définie par :

$$f * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u)g(x-u)du.$$

- ❖ $L^2(\mathbb{R}^2)$ dénote l'espace vectoriel des fonctions $f(x,y)$ de deux variables mesurables et intégrables.
- ❖ Pour $f(x,y) \in L^2(\mathbb{R}^2)$ et $g(x,y) \in L^2(\mathbb{R}^2)$, le produit scalaire de $f(x,y)$ et $g(x,y)$ est défini par :

$$\langle f(x,y), g(x,y) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(u,v)g(u,v)dudv.$$

A.3 Propriétés de l'analyse multi-résolution

Dans cette section, nous présentons de manière intuitive les propriétés désirées de l'opérateur permettant l'analyse multi-résolution d'une fonction. Ces propriétés sont issues de [1].

Soit A_{2^j} l'opérateur qui approxime une fonction $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$ à la résolution 2^j ($j \geq 0$) (i.e. $f(x)$ est définie par 2^j échantillons).

Les propriétés attendues de A_{2^j} sont les suivantes :

1. A_{2^j} est un opérateur linéaire. Si $A_{2^j}f(x)$ représente l'approximation de $f(x)$ à la résolution 2^j , alors $A_{2^j}f(x)$ ne doit pas être modifié lorsqu'on l'approxime de nouveau à la résolution 2^j . Ce principe s'écrit $A_{2^j} \circ A_{2^j} = A_{2^j}$, et montre que l'opérateur A_{2^j} est un opérateur de projection dans un espace vectoriel $V_{2^j} \subset L^2(\mathbb{R})$. Cet espace vectoriel peut être interprété comme l'ensemble de toutes les approximations possibles à la résolution 2^j des fonctions de $L^2(\mathbb{R})$.
2. Parmi toutes les approximations possibles de $f(x)$ à la résolution 2^j , $A_{2^j}f(x)$ est la plus similaire à $f(x)$. L'opérateur A_{2^j} est donc une projection orthogonale sur V_{2^j} .
3. L'approximation d'une fonction à la résolution 2^{j+1} contient toute l'information nécessaire pour calculer la même fonction à la résolution inférieure 2^j . Cette propriété de causalité induit la relation suivante :

$$\forall j \in \mathbb{Z}, V_{2^j} \subset V_{2^{j+1}}.$$

4. L'opération d'approximation est la même à toutes les résolutions. Les espaces des fonctions approximées peuvent être dérivés les uns des autres par un changement d'échelle correspondant à la différence de résolution :

$$\forall j \in \mathbb{Z}, f(x) \in V_{2^j} \Leftrightarrow f(2x) \in V_{2^{j+1}}.$$

5. Lorsque l'on calcule une approximation de $f(x)$ à la résolution 2^j , une partie de l'information contenue dans $f(x)$ est perdue. Cependant, lorsque la résolution tend vers l'infini, la fonction approximée doit converger vers la fonction $f(x)$ originale. De la même façon, lorsque la résolution tend vers zéro, la fonction approximée contient moins d'information et doit converger vers zéro.

Tout espace vectoriel $(V_{2^j})_{j \in \mathbb{Z}}$ qui satisfait l'ensemble de ces propriétés est appelé *approximation multi-résolution de $L^2(\mathbb{R})$* .

A.4 Analyse multi-résolution d'une fonction unidimensionnelle

A.4.1 Recherche d'une base de V_{2^j}

Nous avons vu dans la section A.3 que l'opérateur d'approximation A_{2^j} est une projection orthogonale sur l'espace vectoriel V_{2^j} . Afin de caractériser numériquement cet opérateur, nous devons trouver une base orthonormale de V_{2^j} .

V_{2^j} étant un espace vectoriel contenant les approximations de fonctions de $L^2(\mathbb{R})$ à la résolution 2^j , toute fonction $f(x) \in V_{2^j}$ peut être vue comme un vecteur à 2^j composantes. Il nous faut donc trouver 2^j fonctions de base.

Un des théorèmes principaux de la théorie des ondelettes stipule qu'il existe une fonction unique $\Phi(x) \in L^2(\mathbb{R})$, appelée fonction échelle, à partir de laquelle on peut définir 2^j fonctions de base $\Phi_i^j(x)$ de V_{2^j} par dilatation et translation de $\Phi(x)$:

$$\Phi_i^j(x) = \Phi(2^j x - i), i = 0, \dots, 2^j - 1.$$

Approximer une fonction $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$ à la résolution 2^j revient donc à projeter de façon orthogonale $f(x)$ sur les 2^j fonctions de base $\Phi_i^j(x)$. Cette opération consiste à calculer le produit scalaire de $f(x)$ avec chacune des 2^j fonctions de base $\Phi_i^j(x)$:

$$\begin{aligned} A_{2^j} f(x) &= \sum_{k=0}^{2^j-1} \langle f(u), \Phi_k^j(u) \rangle \Phi_k^j(x) \\ &= \sum_{k=0}^{2^j-1} \langle f(u), \Phi(2^j u - k) \rangle \Phi(2^j u - k). \end{aligned}$$

On peut montrer [1] que $A_{2^j} f(x)$ peut être réduit la convolution de $f(x)$ avec le filtre passe-bas $\Phi(x)$, évaluée au point k :

$$A_{2^j} f = (f(u) * \Phi(-2^j u))(k), k \in \mathbb{Z}.$$

Comme $\Phi(x)$ est un filtre passe-bas, $A_{2^j} f$ peut être interprété comme un filtrage passe-bas suivi d'un sous-échantillonnage uniforme.

A.4.2 Construction de l'analyse multi-résolution

Dans la pratique, les fonctions f à approximer (signal, image, etc.) sont discrètes. Supposons que la fonction $f(x)$ originale soit définie sur $n = 2^k$ ($k \in \mathbb{Z}$) échantillons. La résolution maximale de $f(x)$ est alors n .

Soit $A_n f$ l'approximation discrète de $f(x)$ à la résolution n . La propriété de causalité (cf. section A.3) prétend que l'on peut calculer $A_{2^j} f$ à partir de $A_n f$ pour tout $j < k$.

En effet, en calculant la projection des 2^j fonctions de base $\Phi_i^j(x)$ de V_{2^j} sur $V_{2^{j+1}}$, on peut montrer que $A_{2^j} f$ peut être obtenue en convoluant $A_{2^{j+1}} f$ avec le filtre passe-bas correspondant à la fonction échelle et en sous-échantillonnant le résultat d'un facteur 2 :

$$A_{2^j} f(u) = \sum_{k=0}^{2^{j+1}-1} h(k-2u) A_{2^{j+1}} f(k), 0 \leq u < 2^j - 1$$

avec $h(n) = \langle \Phi(2u), \Phi(u-n) \rangle, \forall n \in \mathbb{Z}$.

A.4.3 La fonction détail

Comme mentionné dans la propriété (5) de la section A.3, l'opération qui consiste à approximer une fonction $f(x)$ à une résolution 2^j à partir d'une approximation à la résolution 2^{j+1} génère une perte d'information. Cette perte d'information est contenue dans une fonction appelée fonction détail à la résolution 2^j et notée $D_{2^j} f$. Il est à noter que la connaissance de $D_{2^j} f$ et $A_{2^j} f$ permet de reconstruire parfaitement la fonction approximée $A_{2^{j+1}} f$.

La fonction détail à la résolution 2^j est obtenue en projetant de manière orthogonale la fonction originale $f(x)$ sur le complément orthogonal de V_{2^j} dans $V_{2^{j+1}}$. Soit W_{2^j} , cet espace vectoriel.

Pour calculer numériquement cette projection, nous avons besoin de trouver une base orthonormale de W_{2^j} , c'est-à-dire 2^j fonctions de base. Un autre théorème important de la théorie des ondelettes stipule qu'à partir d'une fonction échelle $\Phi(x)$, il est possible de définir 2^j fonctions de base de W_{2^j} . Ces fonctions de base $\Psi_i^j(x)$ sont obtenues par dilatation et translation d'une fonction $\Psi(x)$ appelée fonction ondelette :

$$\Psi_i^j(x) = \Psi(2^j x - i), i = 0, \dots, 2^j - 1.$$

De la même façon que pour la construction de l'approximation $A_{2^j} f$, on peut montrer que $D_{2^j} f$ peut être obtenu par une convolution de la fonction originale $f(x)$ avec le filtre passe-haut $\Psi(x)$ suivi d'un sous-échantillonnage d'un facteur 2^j :

$$D_{2^j} f = (f(u) * \Psi(-2^j u))(k), k \in \mathbb{Z}.$$

A.4.5 Extension à l'analyse multi-résolution de fonction bi-dimensionnelles

Dans cette section, nous présentons la manière d'étendre l'analyse multi-résolution par ondelettes aux fonctions de $L^2(\mathbb{R}^2)$ comme les images.

Pour ce faire, on utilise les mêmes théorèmes que ceux utilisés précédemment. Ainsi, si l'on note V_{2^j} , l'espace vectoriel des approximations de $L^2(\mathbb{R}^2)$ à la résolution 2^j , on peut montrer que l'on peut trouver une base orthonormale de V_{2^j} en dilatant et translatant une fonction échelle $\Phi(x, y) \in L^2(\mathbb{R}^2)$:

$$\Phi_{i,j}^j(x, y) = \Phi(2^j x - i, 2^j y - j), (i, j) \in \mathbb{Z}^2.$$

Dans le cas particulier des approximations séparables de $L^2(\mathbb{R}^2)$, on a $\Phi(x, y) = \Phi(x)\Phi(y)$ où $\Phi(x)$ est une fonction échelle de $L^2(\mathbb{R})$. Dans ce cas, l'analyse multi-résolution d'une fonction de $L^2(\mathbb{R}^2)$ est effectué en traitant de façon séquentielle et séparable chacune des dimensions x et y .

Comme dans le cas unidimensionnel, la fonction détail à la résolution 2^j est obtenue par une projection orthogonale de $f(x, y)$ sur le complément de V_{2^j} dans $V_{2^{j+1}}$, noté W_{2^j} . Dans le cas bidimensionnel, on peut montrer que si l'on note $\Psi(x)$ la fonction ondelette associé à la fonction échelle $\Phi(x)$, alors les trois fonctions définies par :

REVENDICATIONS

1. Procédé de détection de points d'intérêt dans une image numérique source, ledit procédé mettant en œuvre une transformation en ondelettes associant à une image source des coefficients ondelettes, pour au moins deux niveaux de
5 résolution :
 - une image grossière ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences verticales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences horizontales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences diagonales,
- 10 un point d'intérêt étant un point associé à une région de l'image présentant une haute fréquence,
caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - application de ladite transformation en ondelettes à ladite image
source ;
 - 15 – construction d'une arborescence unique, à partir des coefficients ondelettes de chacune desdites images de détails ;
 - sélection d'au moins un point d'intérêt, par analyse de ladite arborescence.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape de
20 construction d'une arborescence repose sur une approche de type Zerotree.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que chaque point de l'image grossière de résolution minimum et la racine d'un arbre à laquelle on associe trois nœuds fils correspondant à chacun des coefficients ondelettes des trois images de détails localisés au même emplacement ,
25 puis en ce qu'on associe récursivement, à chaque nœud fils d'un niveau de résolution donné, quatre nœuds fils formés par les coefficients ondelettes de l'image de détails de même type et du niveau de résolution précédent, et associée à la région correspondante de l'image source.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce
30 que ladite étape de sélection met en œuvre une étape de construction d'au moins

- une carte de saillance, affectant auxdits coefficients ondelettes une valeur de saillance représentative de son intérêt.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on construit une carte de saillance pour chacun desdits niveaux de résolution.
- 5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que, pour chacune desdites cartes de saillance, on fusionne pour chaque valeur de saillance les informations associées aux trois coefficients ondelettes correspondant aux trois images de détail, de façon à ne privilégier aucune direction dans l'image.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce qu'une valeur de saillance d'un coefficient ondelette donné d'un niveau de
10 résolution donné prend en compte la ou les valeurs de saillance des coefficients ondelettes descendant dans ladite arborescence dudit coefficient ondelette donné.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce qu'une valeur de saillance est une relation linéaire des coefficients ondelettes
15 associés.
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la valeur de saillance d'un coefficient ondelette donné est calculée à partir des équations (1).
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le paramètre α_k vaut $-1/r$ pour toutes les valeurs de k .
- 20 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, caractérisé en ce que ladite étape de sélection comprend une étape de construction d'une arborescence desdites valeurs de saillance.
12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite étape de construction d'une arborescence desdites valeurs de saillance repose sur une
25 approche de type Zerotree.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 et 12, caractérisé en ce que ladite étape de sélection comprend les étapes de :
- tri par ordre décroissant des valeurs de saillance de la carte de saillance correspondant à la résolution minimum ;
 - 30 - sélection de la branche présentant la valeur de saillance la plus élevée pour

chacun des arbres ainsi triés.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que ladite étape de sélection de la branche présentant la valeur de saillance la plus élevée met en œuvre un parcours de l'arbre correspondant à partir de sa racine, et une sélection à
5 chaque niveau de l'arbre du nœud fils présentant la valeur de saillance la plus élevée.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite transformation en ondelettes met en œuvre la base de Haar.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce
10 que le niveau minimal de résolution est 2^{-1} .

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de calcul d'une signature d'image, à partir d'un nombre prédéterminé de points d'intérêt de ladite image.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que ladite signature est
15 utilisée pour l'indexation d'images par leur contenu.

19. Application du procédé de détection de points d'intérêt dans une image numérique source selon l'une quelconque des revendications 1 à 18 à au moins un des domaines appartenant au groupe comprenant :

- le tatouage d'images ;
- 20 – l'indexation d'images ;
- la détection de visage(s) dans une image.

20. Dispositif de détection de points d'intérêt dans une image numérique source, mettant en œuvre une transformation en ondelettes associant à une image source des coefficients ondelettes, pour au moins deux niveaux de résolution :

- 25 – une image grossière ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences verticales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences horizontales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences diagonales,
- un point d'intérêt étant un point associé à une région de l'image présentant une
30 haute fréquence,

caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens d'application de ladite transformation en ondelettes à ladite image source ;
- des moyens de construction d'une arborescence unique, à partir des coefficients ondelettes de chacune desdites images de détails ;
- des moyens de sélection d'au moins un point d'intérêt, par analyse de ladite arborescence.

21. Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de détection de points d'intérêt dans une image numérique source selon l'une quelconque des revendications 1 à 19.

22. Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme enregistré sur un support utilisable dans un ordinateur, comprenant des moyens de programmation lisible par ordinateur pour la mise en œuvre d'une transformation en ondelettes associant à une image source des coefficients ondelettes, pour au moins deux niveaux de résolution :

- une image grossière ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences verticales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences horizontales ;
 - une image de détails représentant les hautes fréquences diagonales,
- un point d'intérêt étant un point associé à une région de l'image présentant une haute fréquence,

caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens de programmation lisible par ordinateur pour effectuer l'application de ladite transformation en ondelettes à ladite image source ;
- des moyens de programmation lisible par ordinateur pour effectuer la construction d'une arborescence unique, à partir des coefficients ondelettes de chacune desdites images de détails ;
- des moyens de programmation lisible par ordinateur pour effectuer la

sélection d'au moins un point d'intérêt, par analyse de ladite arborescence.

23. Support de données numériques utilisable par un ordinateur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions de code de programme d'un programme d'ordinateur selon l'une quelconque des revendications 21 et 22.
- 5

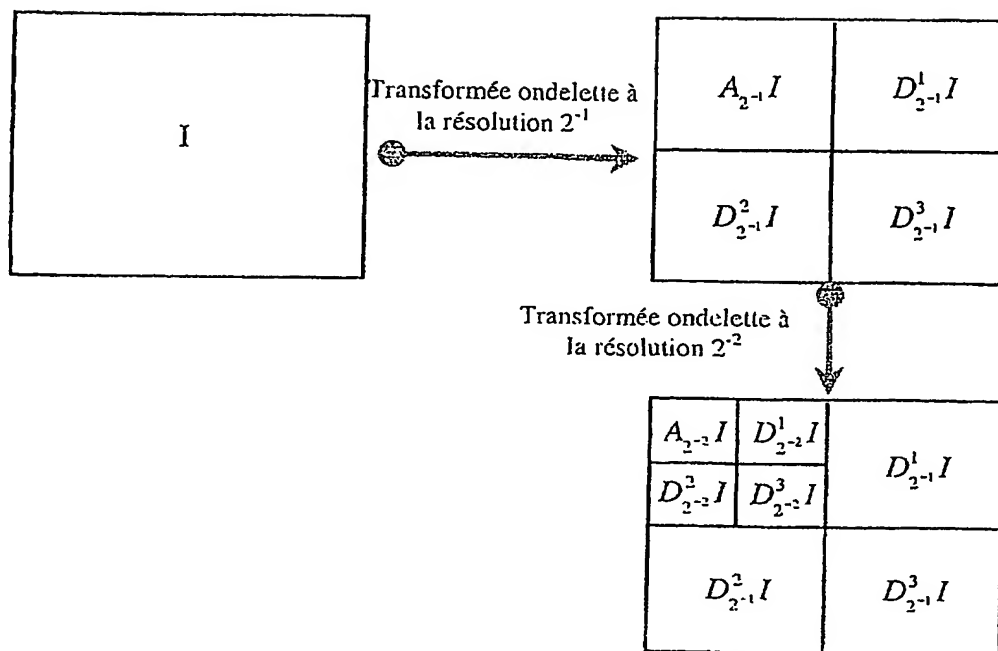


Figure 1

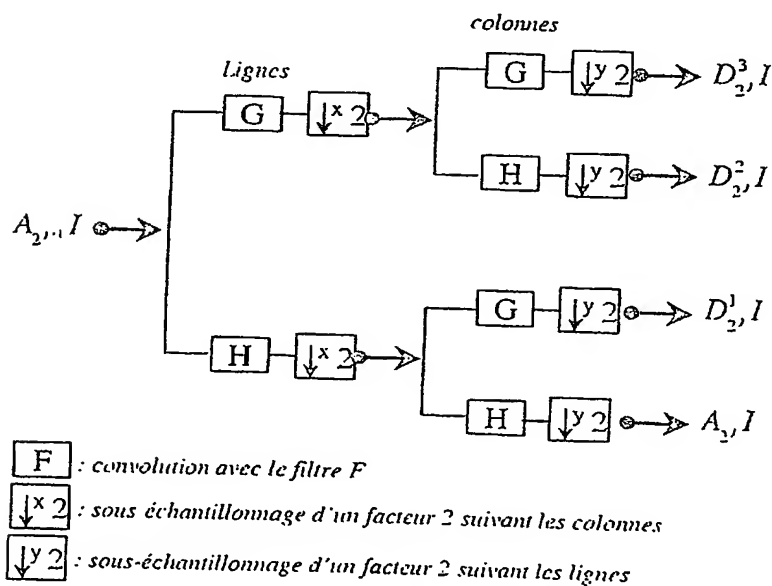


Figure 2

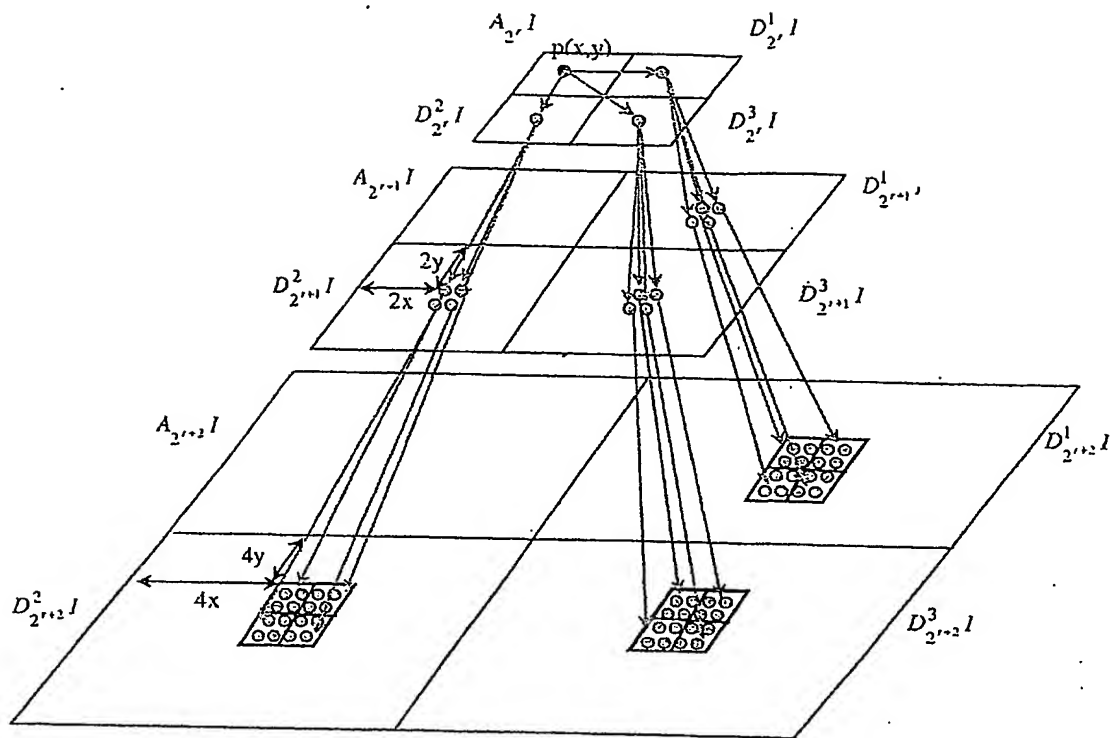


Fig. 3

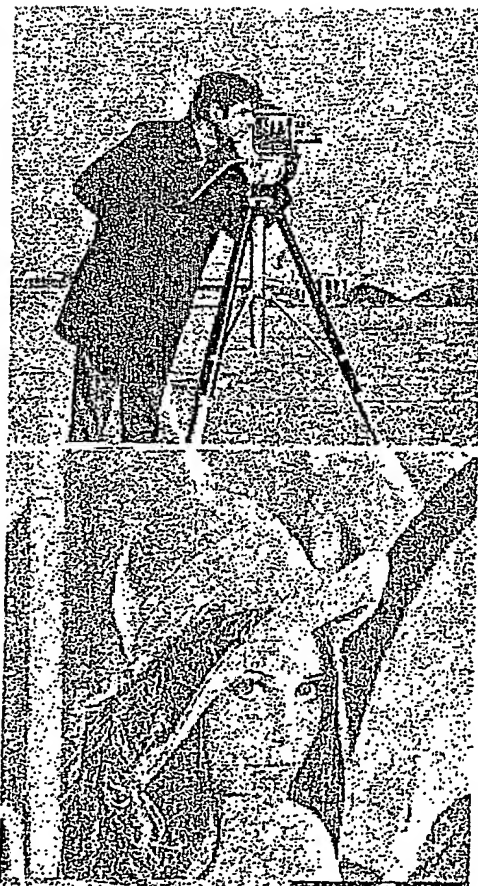


Fig. 6a

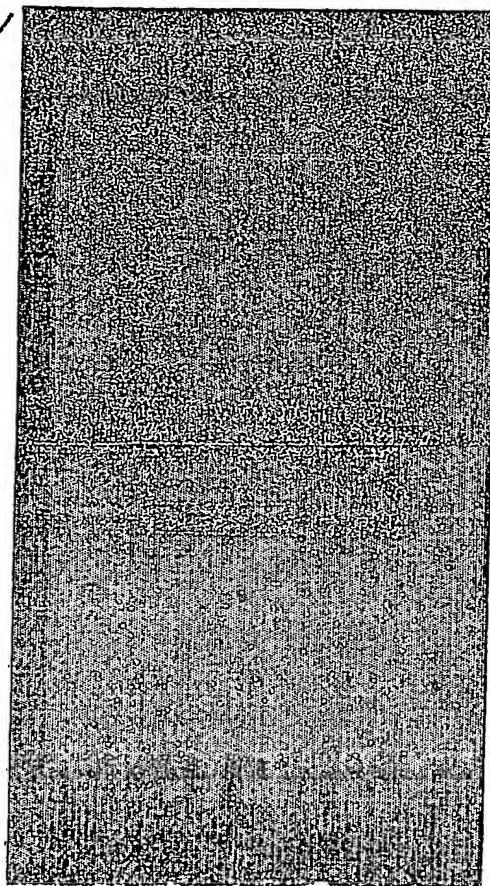


Fig. 6b

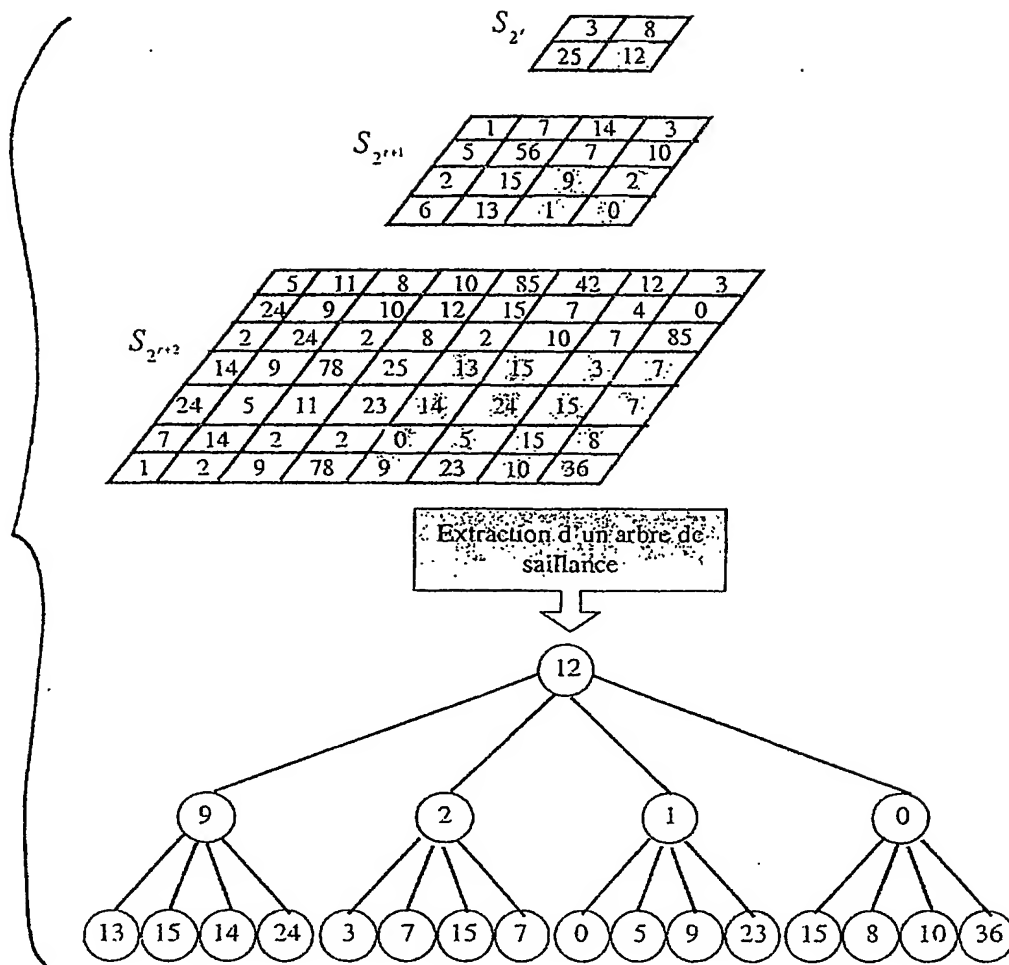


Fig. 4

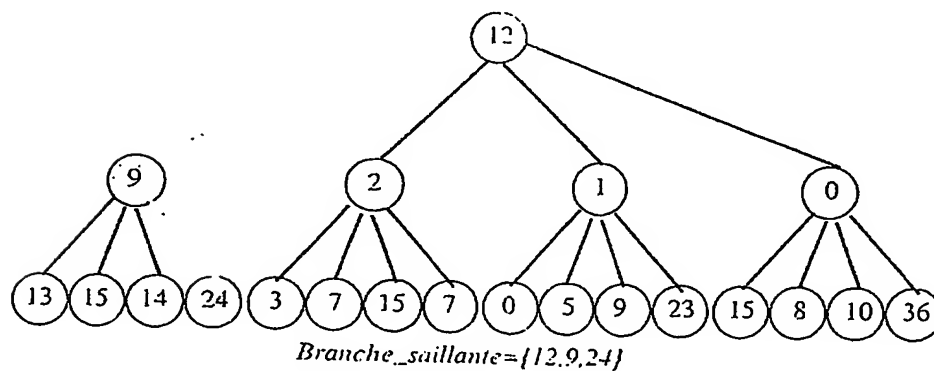


Fig. 5

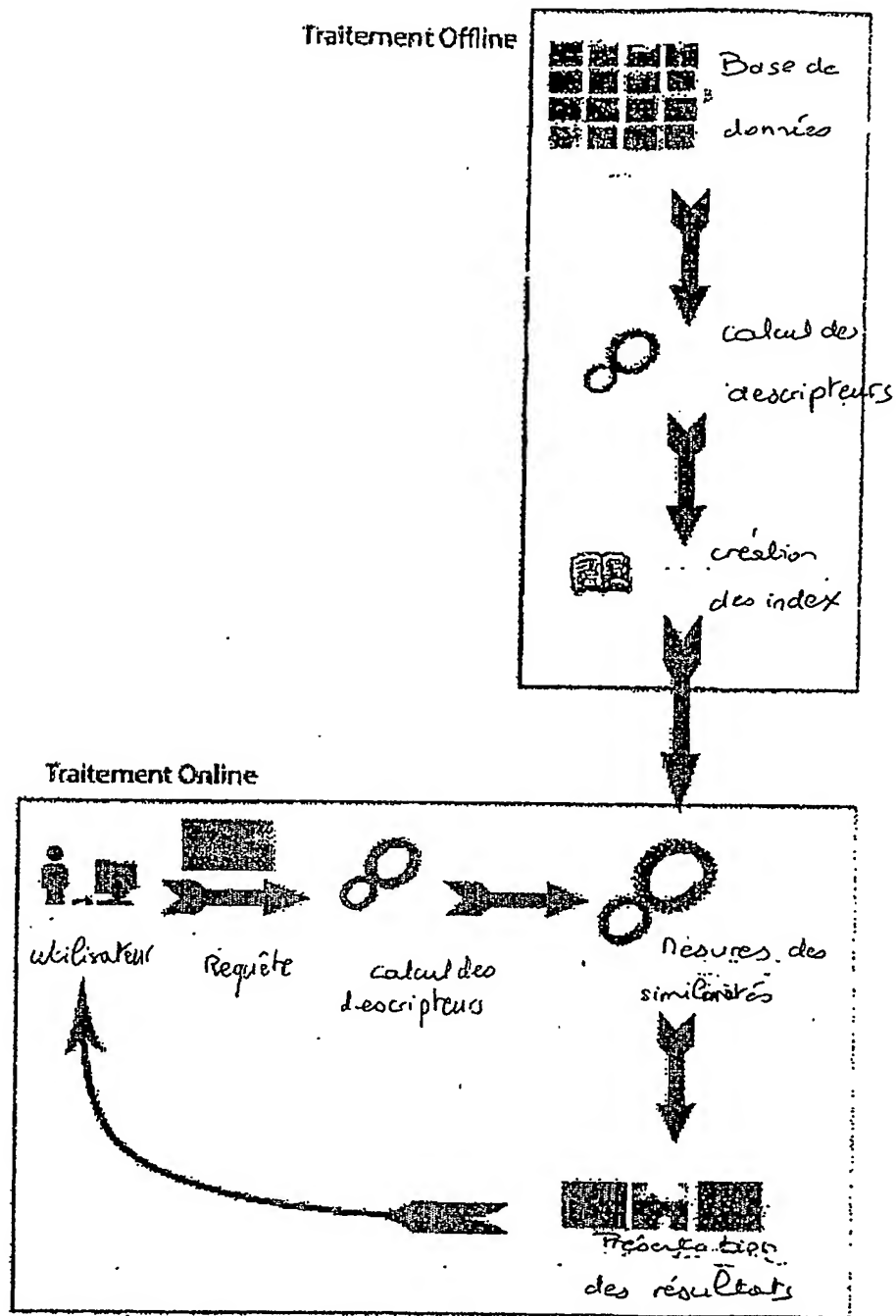


Figure 7

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1../1..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

INV

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 © W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)	8704
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	02 16929

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)
Procédé et dispositif de détection de points d'intérêt dans une image numérique source, programme d'ordinateur et support de données correspondantes

LE(S) DEMANDEUR(S) :

FRANCE TELECOM
6, Place d'allera
75015 PARIS
FRANCE

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1	Nom	LAURENT
	Prénoms	Christophe
Adresse	Rue	3, rue des Fraîches
	Code postal et ville	13 15 6 13 01 VIGNOC
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	LAURENT
	Prénoms	Nathalie
Adresse	Rue	3, rues des Fraîches
	Code postal et ville	13 15 6 13 01 VIGNOC
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	
	Prénoms	
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

le 31 décembre 2002

P. VIDON mandataire (CPI 92-1250)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.